

UNDERWATER ROBOT

Publication number: JP10035587

Publication date: 1998-02-10

Inventor: TOMINAGA FUMIAKI

Applicant: MITSUBISHI HEAVY IND LTD

Classification:

- International: **A01K75/00; B08B3/02; B63C11/00; B63H11/10; B63H25/46; A01K75/00; B08B3/02; B63C11/00; B63H11/00; B63H25/00; (IPC1-7): B63H11/10; A01K75/00; B08B3/02; B63C11/00; B63H25/46**

- european:

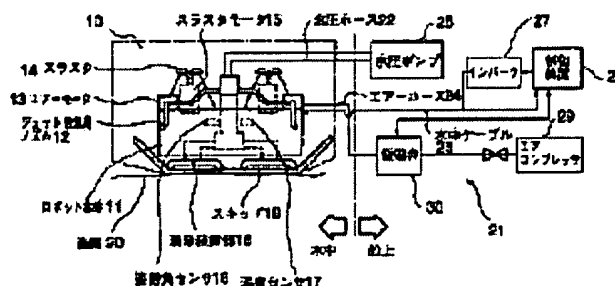
Application number: JP19960197783 19960726

Priority number(s): JP19960197783 19960726

Report a data error here

Abstract of JP10035587

PROBLEM TO BE SOLVED: To downsize a robot and to reduce its weight without the occurrence of any functional failures caused by entangling of suspended matters with a screw even in an environment where many suspended matters exist. **SOLUTION:** Four jet propelling nozzles 12 are obliquely attached to the side face of a robot main body 11. The robot main body 11 includes an air motor 13, a thruster 14, a thruster motor 15, a posture angle sensor 16, a depth sensor 17, a cleaner section 18 and a skid 19. High pressure water is supplied from a water pressure pump 25 on an assist mother ship through a water pressure hose 22 to the cleaner section 18 and the air motor 13 and then this high pressure water is jetted out through the jet propelling nozzles 12. A controller 26 drives the thruster motor 15 based on detected signals from the posture angle sensor 16 and the depth sensor 17 so as to perform posture control and controls turning ON/OFF of the jet propelling nozzles 12 via a solenoid valve 30 and the air motor 13.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-35587

(43)公開日 平成10年(1998) 2月10日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 6 3 H 11/10			B 6 3 H 11/10	
A 0 1 K 75/00			A 0 1 K 75/00	H
B 0 8 B 3/02			B 0 8 B 3/02	E
B 6 3 C 11/00			B 6 3 C 11/00	B
B 6 3 H 25/46			B 6 3 H 25/46	

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平8-197783

(22)出願日 平成8年(1996) 7月26日

(71)出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72)発明者 富永 史彰

愛知県小牧市大字東田中1200番地 三菱重

工業株式会社名古屋誘導推進システム製作

所内

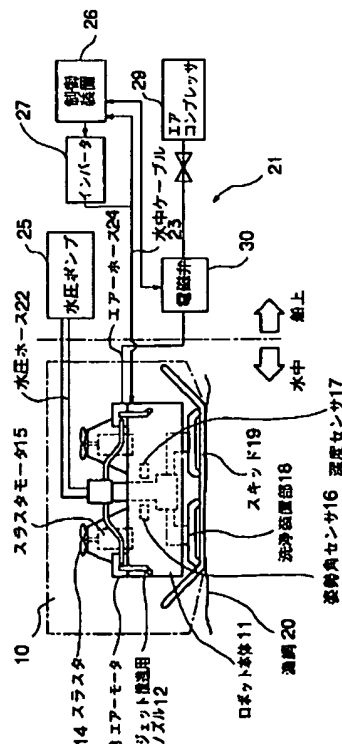
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外3名)

(54)【発明の名称】 水中ロボット

(57)【要約】

【課題】浮遊物が多い環境においても、浮遊物がスクリーンに絡んで機能不良になることもなく、かつ、小型軽量化を可能とする。

【解決手段】ロボット本体11に、側面に4個のジェット推進用ノズル12を斜めに取り付ける。また、ロボット本体11には、エアモータ13、スラスト14、スラストモータ15、姿勢角センサ16、深度センサ17、洗浄装置部18及びスキッド19を設ける。そして、支援母船上の水圧ポンプ25から高圧水を水圧ホース22を介して洗浄装置部18及びエアモータ13に供給し、このエアモータ13よりジェット推進用ノズル12を介して外部へ噴出させる。制御装置26は、姿勢角センサ16及び深度センサ17からの検出信号に基づいてスラストモータ15を駆動して姿勢制御を行なうと共に、電磁弁30及びエアモータ13を介してジェット推進用ノズル12をON/OFF制御する。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 外部から供給される高圧水により、複数のノズルからジェット水を噴き出すジェット推進器を備えた水中ロボット。

【請求項2】 水中ロボット本体と、この水中ロボット本体に取り付けられ、外部から供給される高圧水により、複数のノズルからジェット水を噴き出すジェット推進器と、上記水中ロボット本体の位置、姿勢を検出するセンサと、このセンサの検出信号に基づいて上記ジェット推進器を制御する制御装置とを具備したことを特徴とする水中ロボット。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ジェット水をノズルから噴出する推進器を備えた水中ロボットに関する。

【0002】

【従来技術】従来、例えば海底、海中等の探査、あるいは海中で作業を行なうための水中ロボットが考えられている。このように水中を移動するタイプの移動体（ROV: Remotely Operated Vehicle）（水中ロボット）においては、図15に示すようにロボット本体1の周囲に設けた複数のスラスト（推進器）2により推進/制御を行なっている。上記スラスト2としては、従来、電動モータ軸に取り付けたスクリューにより推力を得るものが使用されている。そして、上記水中ロボットには、例えば海上の支援母船より電源ケーブル3を介して制御指令、電源等が与えられ、複数のスラスト2により、前後進/上下降/左右の運動が制御される。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記従来のようにスクリューの回転により推力を得るスラスト2を用いた場合、次のような問題がある。

（1）海中（又は水中）には藻類をはじめ多くの浮遊物が漂っており、これらの浮遊物がスクリューに巻き込まれると、スクリューが回転しなくなり、制御不能となる。最悪の場合、水中ロボット自体の回収が不能になることがある。

【0004】（2）スクリューを駆動するための電動モータが必要となり、モータ搭載のためのスペースが必要になり、水中ロボットが大型化するという問題がある。本発明は上記の課題を解決するためになされたもので、浮遊物が多い環境においても、浮遊物がスクリューに絡んで機能不良になることもなく、かつ、小型軽量化を図り得ると共に、移動制御を確実に実行し得る水中ロボットを提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明に係る水中ロボットは、外部から供給される高圧水により、複数のノズルからジェット水を噴き出すジェット推進器を備えたことを特徴とする。また、本発明は、水中ロボット本体と、

この水中ロボット本体に取り付けられ、外部から供給される高圧水により、複数のノズルからジェット水を噴き出すジェット推進器と、上記水中ロボット本体の位置、姿勢を検出するセンサと、このセンサの検出信号に基づいて上記ジェット推進器を制御する制御装置とを具備したことを特徴とする。

【0006】上記のように水中ロボットの移動制御力として、ジェット推進力を利用し、その推進力となるジェットエネルギーを水中ロボットより離れた外部より供給することにより、ゴミ等の多い環境においても、ゴミがスクリューにからんで機能不良になることもなく、しかも、水中ロボットの小型・軽量化が可能となる。

【0007】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。

（第1実施形態）この第1実施形態は、漁網清掃用の水中ロボットに実施した場合の例を示したもので、図1は水中ロボットの全体構成図、図2は機能系統図である。

【0008】図1において、10は水中ロボットで、ロボット本体11に対して、ジェット推進用ノズル12、ノズル開閉制御用のエアモータ13、スラスト14、このスラスト14を駆動するスラストモータ15、ロボット本体11の姿勢角を検出する姿勢角センサ16、ロボット本体11の深度を検出する深度センサ17、洗浄装置部18及びスキッド19が設けられる。このスキッド19は、洗浄対象である漁網20に当接して平面的に保持し、該漁網20の洗浄を効果的に行なわせるものである。また、センサとしては、上記姿勢角センサ16、深度センサ17の他に例えば方位センサ、位置センサ、圧力センサ等を必要に応じて設けてもよい。

【0009】上記ジェット推進用ノズル12は、水中ロボット10を推進させるためのもので、例えばロボット本体11の側面に2個づつ（合計4個）斜めに取り付けられる。また、スラスト14は、ロボット本体11の姿勢を制御するためのもので、ロボット本体11の背面に複数例えば2個設けられる。

【0010】上記水中ロボット10は、海上の支援母船上に設けられる外部装置21に対し、例えば数10m（メートル）の長さを持つ水圧ホース22、水中ケーブル23、エアホース24を介して接続される。

【0011】上記外部装置21は、例えば水圧ポンプ25、制御装置26、インバータ27、制御装置26、エアコンプレッサ29、エアモータ制御用電磁弁30により構成される。

【0012】そして、図1及び図2に示すように上記水圧ポンプ25からの高圧水が水圧ホース22を介して洗浄装置部18及びエアモータ13に供給され、このエアモータ13よりジェット推進用ノズル12を介して外部へ噴出される。また、電源部31から出力される電力がインバータ27を介して制御装置26に供給される。ま

た、この制御装置26には、姿勢角センサ16及び深度センサ17により検出された信号が水中ケーブル23を介して入力される。上記制御装置26は、姿勢角センサ16及び深度センサ17からの検出信号に基づいて駆動信号を水中ケーブル23を介してスラストモータ15に供給する。また、制御装置26は、エアモータ制御用電磁弁30に動作指令を出力する。

【0013】上記エアモータ制御用電磁弁30は、制御装置26からの指令に従ってエアコンプレッサ29からのエアをエアモータ13に送出し、このエアモータ13の動作を制御する。図3(a)、(b)は、上記エアモータ制御用電磁弁30及びエアモータ13の動作説明図である。エアモータ制御用電磁弁30は、制御装置26からの指令によって入口と出口との接続関係が図3

(a)、(b)に示すように切り換えられ、それに伴ってエアモータ13に供給されるエアの方向が変化する。図3(a)では、電磁弁30からエアモータ13の図示左方の入口にエアが供給され、エアモータ13の作動板13aが右方に移動し、水圧ポンプ25からの高圧水がジェット推進用ノズル12を介して噴出される。また、図3(b)では、電磁弁30からエアモータ13の図示右方の入口にエアが供給され、エアモータ13の作動板13aが左方に移動して入口と出口との間が遮断される。上記のようにしてエアモータ13の出入口が開閉され、ジェット推進用ノズル12によるジェット噴射が制御される。

【0014】また、上記水圧ポンプ25から水圧ホース22を介して送出される高圧水は、洗浄装置部18へも送られ、漁網20の洗浄にも使用される。次に上記実施形態の全体の機能について説明する。

【0015】水中ロボット10は、ジェット推進用ノズル12を利用して水中を移動し、また、スラスト14により姿勢を制御して清掃対象である漁網20上に位置させる。この場合、漁網20のたわみによる影響を避けるため、制御装置26が姿勢角センサ16の検出データに基づいてインバータ27を制御することによりスラストモータ15の回転数を制御し、その結果としてスラスト力を変え、ロボット本体11の姿勢角を維持した状態でスキッド19の面にて漁網20に取り付く。

【0016】水中ロボット10が対象面を移動する場合は、ロボット本体11の側面に取り付けた4個のジェット推進用ノズル12を使用する。図4は、上記ジェット推進用ノズル12による推進動作を説明するための図で、(a)は静止座標系とロボット座標系を示す図、(b)はオイラー角を示す図、(c)はロボット本体11の上面図、(d)はロボット本体11の側面図である。図中、X軸は左右方向、Y軸は前後方向、Z軸は上下方向である。なお、ロボット本体11には、側面の(A)、(イ)、(ウ)、(エ)の位置の4箇所ジェット力 $Tf1 \sim Tf4$ を有するジェット推進用ノズル12a

～12dが斜めに設けられているものとする。

【0017】図4に示すように、ロボット本体11を上面から見て図示左側に進めるときは、右側のジェット推進用ノズル12a、12bを噴射する。逆に右側に進むときは、左側のジェット推進用ノズル12c、12dを噴射する。同様に下へ落ちる場合は、上側のジェット推進用ノズル12a、12dを噴射し、上昇する場合は、下側のジェット推進用ノズル12b、12cを噴射する。また、例えば姿勢を制御するために回転が必要な場合、時計回りに回転させるにはジェット推進用ノズル12b、12dを噴射させ、反時計回りに回転させるにはジェット推進用ノズル12a、12cを噴射させる。

【0018】これらの制御は、ロボット本体11に取り付けられた姿勢角センサ16及び深度センサ17の検出信号を船上にある制御装置26で感知し、決められた移動経路に沿って水中ロボット10が移動するように、各ジェット推進用ノズル12を作動させることにより行なう。

【0019】上記ジェット推進用ノズル12による噴射は、船上にある水圧ポンプ25により海水を汲み上げ、加圧した海水、即ち高圧水を水圧ホース22を介してジェット推進用ノズル12に送り込むことにより実現する。

【0020】また、上記水圧ポンプ25から水圧ホース22を介して送られた高圧水は、洗浄装置部18にも送られ、漁網20の洗浄に使用される。上記のようにジェット推進用ノズル12によりロボット本体11を移動させながら、高圧水を洗浄装置部18に送って漁網20を洗浄する。

【0021】これらの制御ブロック図は、図5ないし図6に示す構成となっている。制御系は、図6に示すX-Z平面上での移動制御(ヨー/航路/深度制御系)、及び図7に示すY-Z平面での姿勢角制御(ピッチ系)よりなっている。ただし、ロール系は無誘導とする。図5(a)はX-Z平面における座標系、図5(b)はY-Z平面における座標系を示したものである。

【0022】上記移動制御系は、ジェット推進用ノズル12のON/OFF制御にて実施する。また、ピッチ制御系は、2個のスラスト14により連続制御される。このスラスト14による制御力を必要推力より若干大きな力とすることにより、上記したようにロール制御系は無誘導としている。

【0023】上記図6に示す移動制御(ヨー/航路/深度制御系)においては、移動制御パターン41に基づいて出力される姿勢角 ψ_c 、航路 X_c 、深度 Z_c と、機体運動による実際の姿勢角 ψ 、航路 X 、深度 Z との偏差を求め、その偏差信号を補償器42a～42cにより補償した後、必要ジェット力 F_3 を求める。この必要ジェット力 F_3 については詳細を図8に示す。なお、この場合、ジェットノズルの応答遅れは無しとしている。

【0024】上記必要ジェット力43を求めた後、各ジェット推進用ノズル12に対するジェット制御(ON/OFF制御)44を行なう。このジェット制御44は、詳細を図9に示す姿勢制御、移動制御、潜航制御を行なう。

【0025】そして、上記ジェット制御(ON/OFF制御)44によって各ジェット推進用ノズル12による高圧水の噴射がON/OFF制御されて、ロボット本体11の運動、つまり、機体運動45となる。この機体運動45に伴うロボット本体11の姿勢角 ψ 、航路X、深度Zがフィードバックされ、上記したように移動制御パターン41に基づく姿勢角 ψ_c 、航路 X_c 、深度 Z_c との偏差が求められ、この偏差に応じて上記した制御動作が繰り返し実行される。

【0026】また、図7に示すY-Z平面での姿勢角制御(ピッチ系)では、予め設定された姿勢角ピッチ θ_c と機体運動に伴う実際の姿勢角ピッチ θ との偏差を求め、その偏差信号を補償器51により補償した後、必要スラスト力制御52を行なう。すなわち、図10に詳細を示すように2台のスラスト14に対する必要スラスト力 $Ts1$ 、 $Ts2$ を求める。次いで、この必要スラスト力 $Ts1$ 、 $Ts2$ から必要回転数制御53を行なう。この必要回転数制御53では、必要スラスト力 $Ts1$ 、 $Ts2$ から必要回転数 $nf1$ 、 $nf2$ を求めるが、必要回転数 $nf1$ 、 $nf2$ は、必要推力より若干大きい力とし、ピッチ系を強制的に漁網20に押し付けることにより、ロールが発生しないようにする。これにより、ロール系は無誘導となる。

【0027】上記必要回転数 $nf1$ 、 $nf2$ によって2台のスラスト14を回転駆動する。このスラスト14の駆動が機体運動45となり、その運動に伴うロボット本体11の姿勢角ピッチ θ がフィードバックされて、上記した制御動作が繰り返し実行される。

【0028】次に図11に示すシミュレーション経路を上記の制御系にてシミュレーションした結果を図12に示す。上記図11のシミュレーション経路においては、(a)はX座標(距離)、Z座標(深度)上に設定した進行ルートを示し、(b)は目標座標、即ち、経過時間(秒)と目標座標(X座標、Y座標)の関係を示している。上記進行ルートの設定は、図11(a)に○印で示す各途中目標間の移動時間を何れも50秒としたもので、各目標位置の詳細を同図(b)に示した。

【0029】図12は、上記設定した進行ルートを上記制御系にてシミュレーションした結果を示したもので、この結果からも明らかなように、ほぼ意図した経路上を移動させることが可能である。なお、上記実施形態で示したジェット推進用ノズル12のON/OFF制御により位置制御した場合の停留範囲は、図13に示す通りとなり、最適ノズル係数を選択すると、約0.2mの範囲に制御可能となる。なお、本制御は実機においても確認済である。上記図13において、(a)はX座標、Y座

標におけるロボット本体11の停留範囲の軌跡を示している。また、同図(b)、(c)はノズル制御係数と停留範囲の面積($x \cdot y$)との関係を示すもので、この図からノズルの最適制御係数を決定することができる。

【0030】ノズルの制御係数を決定する場合、図13(a)の座標上において、ロボット本体11を座標(10, 10)の位置から座標(5, 5)の位置へ移動させ、その位置を保持するような制御を行なう。制御状態が悪ければ、座標(5, 5)から大きく外れ、停留軌跡の x 、 y の幅は大きくなる。従って、 $x \cdot y$ で表される面積が小さいほど誤差は小さくなり、制御状態は良いといえる。ノズル制御係数 C_t (角度 θ)、 C_z (Z軸)、 C_x (X軸)は、シミュレート結果から、 $C_t = C_z = C_x$ のとき最も良い制御ができることが明らかとなった。そこで、それがどのような値のときに最も良い制御が可能になるのかを得るため、係数を上記図13(b)に示すように設定して $x \cdot y$ の面積を調べた結果、図13(c)に示す結果が得られた。この場合のノズル最適制御係数は、停留範囲の面積($x \cdot y$)が最も小さい値(0.16 m^2)となる「7000」であるので、この値をノズル制御係数として設定する。

【0031】上記第1実施形態で示した漁網清掃ロボットにおいては、ロボット推進用の高圧水を漁網の洗浄にも使用できるので、特に装備を増やすことなく対応することができる。また、水中ロボットの移動制御力として、ジェット推進力を利用し、そのジェットエネルギーを水中ロボットから離れた支援母船等から取り込むようにしているので、ゴミ等の多い環境においても、ゴミがスクリュウにからんで機能不良になることもなく、しかも、水中ロボットの小型・軽量化を図ることが可能となる。

【0032】なお、上記実施形態では、漁網清掃ロボットに実施した場合について示したが、その他、例えば海底、海中等の探査、あるいは他の海中作業を行なう水中ロボットに実施し得るものである。

【0033】また、上記実施形態では、ロボット本体11の背面に設けたスラスト14によって姿勢制御を行なうようにしたが、更に背面ノズルを設けて、スラスト14と背面ノズルの組み合わせによって姿勢制御を行なうようにしてもよい。

【0034】(第2実施形態)図14は、本発明の第2実施形態に係る水中ロボットの全体構成を示す外観斜視図である。この第2実施形態では、前記第1実施形態で用いている姿勢制御用スラストの代わりにジェット推進を使用し、ロボット本体11の移動制御をすべてジェット推進により行なうようにしたものである。すなわち、ロボット本体11の周囲に複数個、例えば8個のジェット推進用ノズル12を設けて、移動制御、姿勢制御(ピッチ/ロール/ヨー)を可能とする。また、この第2実施形態においても、ロボット本体11と支援母船との間

に水中ケーブル23及び水圧ホース22等が設けられる。

【0035】上記のようにスラストを使用せず、ロボット本体11の移動制御をすべてジェット推進により行なうことにより、ゴミがスクリーにからんで機能不良になる恐れが全く無くなり、ゴミ等の多い環境においても、安定した動作を行なわせることができる。

【0036】

【発明の効果】以上詳記したように本発明によれば、水中ロボットの移動制御力として、ジェット推進力を利用し、その推進力となるジェットエネルギーを水中ロボットより離れた外部より取り込むようにしているので、ゴミ等の多い環境においても、ゴミがスクリュースにからんで機能不良になることもなく、しかも、水中ロボットの小型・軽量化を図ることができる。また、水中ロボットに対して外部よりエネルギーを供給するようにしているので、連続的にジェットエネルギーを供給することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係る水中ロボットの全体構成を示すブロック図。

【図2】同実施形態におけるきり機能系統図。

【図3】同実施形態におけるジェット制御部分の機構を概略的に示す図。

【図4】同実施形態における座標系を示す図。

【図5】同実施形態における制御動作を説明するための座標系を示す図。

【図6】同実施形態における移動制御系（ヨー／航路／深度制御系）のブロック図。

【図7】同実施形態における姿勢角制御系（ピッチ）のブロック図。

【図8】図6の制御系における必要ジェット力制御の詳細を示す図。

【図9】図6の制御系におけるジェット制御（ON/OFF制御）の詳細を示す図。

【図10】図7における必要スラスト力制御の詳細を示す図。

【図11】同実施形態におけるシミュレーション経路を示す図。

【図12】同実施形態におけるシミュレーション結果を示す図。

【図13】同実施形態におけるノズル制御係数及び停留範囲を示す図。

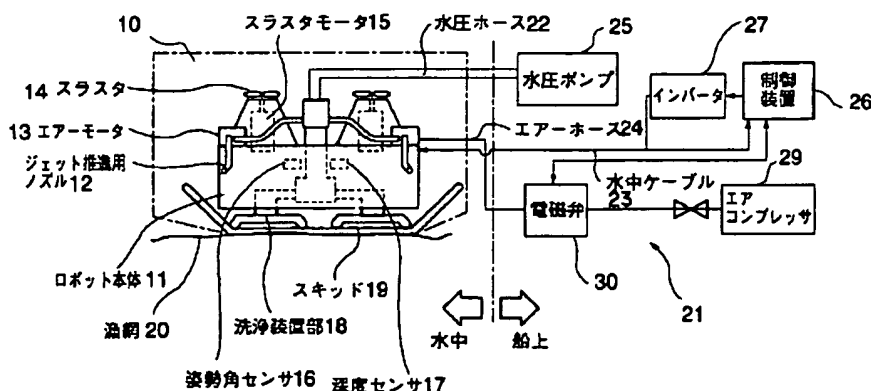
【図１４】本発明の第２実施形態に係る水中ロボットの全体構成を示す外観斜視図。

【図15】従来の水中ロボット全体構成を示す外観斜視図。

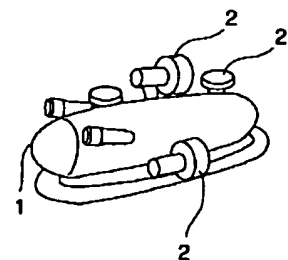
【符号の説明】

- 10 水中ロボット
- 11 ロボット本体
- 12 ジェット推進用ノズル
- 13 エアモータ
- 14 スラスタ
- 15 スラスタモータ
- 16 姿勢角センサ
- 17 深度センサ
- 18 洗淨装置部
- 19 スキッド
- 20 漁網
- 21 外部装置
- 22 水圧ホース
- 23 水中ケーブル
- 24 エアホース
- 25 水圧ポンプ
- 26 制御装置
- 27 インバータ
- 29 エアコンプレッサ
- 30 エアモータ制御用電磁弁
- 31 電源部

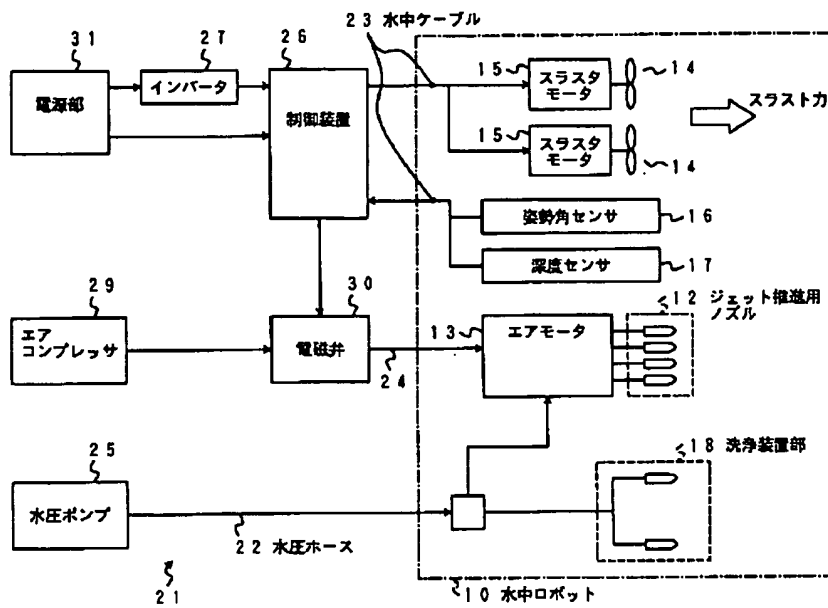
【図1】



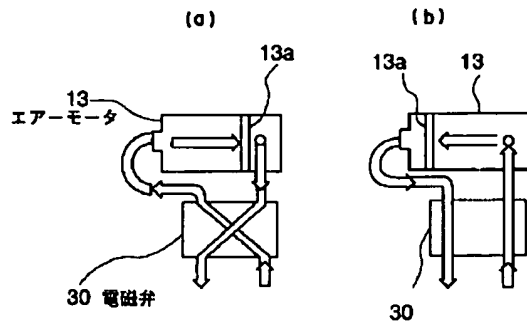
【図15】



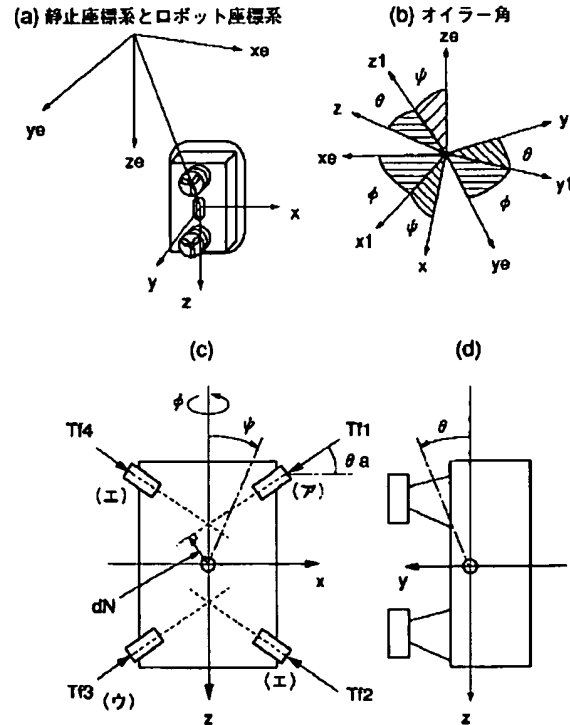
【図2】



【図3】



【図4】



【図14】

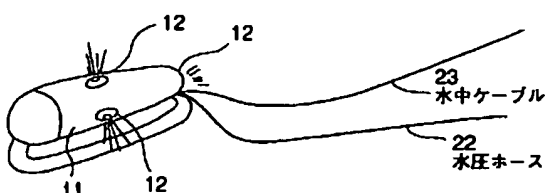


Figure 1 consists of two schematic diagrams, (a) and (b), illustrating a four-jet attitude control system.

(a) Top view of the spacecraft body. The center of mass is labeled M_y . Four jets are mounted at a distance b from the center of mass. The jets are labeled T_1 , T_2 , T_3 , and T_4 . The attitude angle ϕ is shown relative to the vertical dashed line. The pitch angle θ_a is shown relative to the horizontal dashed line. The X-axis is labeled (左右方向) and the Z-axis is labeled (上下方向). The jet forces are labeled T_1 , T_2 , T_3 , and T_4 . The text "座標系" (Coordinate system) is at the top left.

(b) Side view of the spacecraft body. The center of mass is labeled M_x . The pitch angle θ is shown relative to the vertical dashed line. The jet deflection angles α_1 and α_2 are shown. The jets are labeled T_1 and T_2 . The text "姿勢角ピッチ" (Pitch attitude angle) is at the top left. The text "スラスタ1 回転数 : n_{f1} " (Thruster 1 rotation speed : n_{f1}) and "スラスタ2 : n_{f2} " (Thruster 2 : n_{f2}) are shown. The Y-axis is labeled (前後方向) and the Z-axis is labeled (上下方向).

【図7】

```

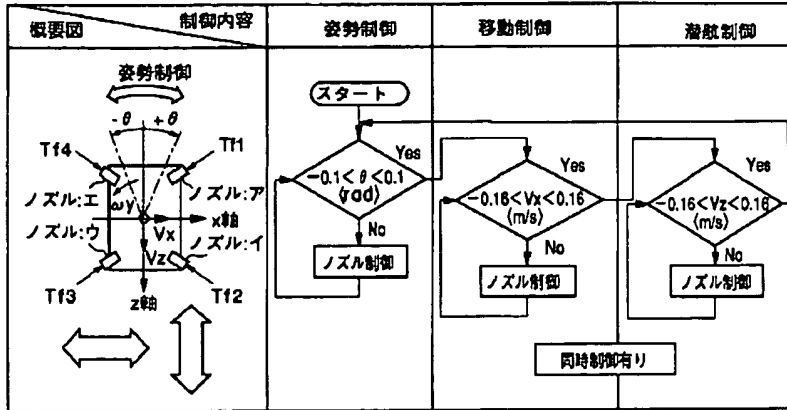
graph LR
    Input["姿勢角ピッチ: θc"] --> Sum((+ -))
    Sum --> 51["51 補償器"]
    51 --> 52["52 必要スラスト力制御  
nf1 > f(Ts1)  
nf2 > f(Ts2)"]
    52 --> 53["53 必要回転数"]
    53 --> 14["14 スラスタ"]
    14 --> 54["54 機体運動"]
    54 --> Output["θ"]
    Output --> Sum
  
```

ノズル: A	$T f 1 = \frac{1}{4} \left(- \frac{M y}{d_N} - \frac{T x}{\sin \theta_N} + \frac{T z}{\cos \theta_N} \right)$	ヨー傾歪を0にするのに必要なY軸回りモーメント: $M y$ 深度傾歪を0にするのに必要なZ軸方向スラスト: $T z$
ノズル: I	$T f 2 = \frac{1}{4} \left(+ \frac{M y}{d_N} - \frac{T x}{\sin \theta_N} - \frac{T z}{\cos \theta_N} \right)$	航路傾歪を0にするのに必要なX軸方向スラスト: $T x$ $T x = C x (X_t - X_n)$ $C x$: ノズル制御係数 (X軸), X_t : 目標X座標, X_n : 現在X座標
ノズル: W	$T f 3 = \frac{1}{4} \left(- \frac{M y}{d_N} + \frac{T x}{\sin \theta_N} - \frac{T z}{\cos \theta_N} \right)$	$T z = C z (Z_t - Z_n)$ $C z$: ノズル制御係数 (Z軸), Z_t : 目標Z座標, Z_n : 現在Z座標
ノズル: E	$T f 4 = \frac{1}{4} \left(+ \frac{M y}{d_N} + \frac{T x}{\sin \theta_N} + \frac{T z}{\cos \theta_N} \right)$	$M y = C t (\theta_t - \theta_n)$ $C t$: ノズル制御係数 (角度 θ), θ_t : 目標角度 θ , θ_n : 現在角度

スラスト : 1	$T_{s1} = \frac{T_y \cdot a - M_x}{2a}$
スラスト : 2	$T_{s2} = \frac{T_y \cdot a + M_x}{2a}$
<p>ピッチ偏差を0にするに必要なX軸回りモーメント : M_x 位置偏差を0にするに必要なY軸方向スラスト : T_y</p>	

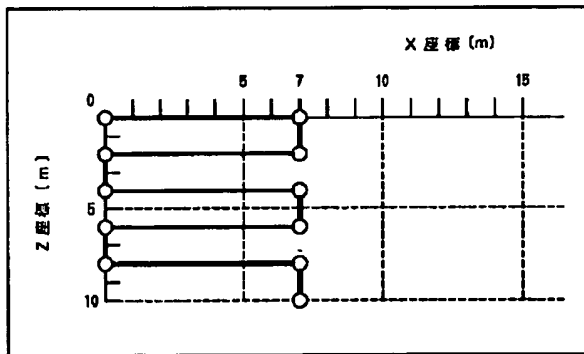
【図9】

〔ジェット制御 (ON/OFF制御)〕



【図11】

〔進行ルートの設定〕



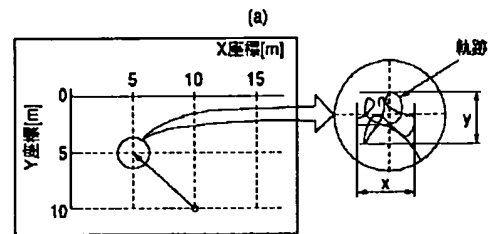
(b)

〔目標座標〕

時間(秒)	目標座標	
	X座標	Z座標
0	0	0
0~50	7	0
50~100	7	2
100~150	0	2
150~200	0	4
200~250	7	4
250~300	7	6
300~350	0	6
350~400	0	8
400~450	7	8
450~500	7	10

【図13】

〔ノズル制御係数及び停留範囲〕



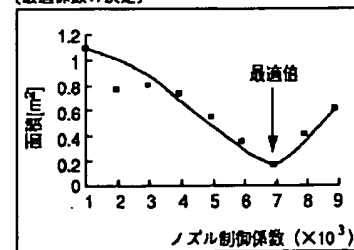
(b)

〔最適係数の決定〕

ノズル制御係数	面積 (x・y)
1000	1.0925
2000	0.76
3000	0.8
4000	0.735
5000	0.5525
6000	0.36
7000	0.16
8000	0.42
9000	0.63

(c)

〔最適係数の決定〕



【図12】

〔シミュレーション結果〕

